

第5章 裏込注入工法

5.1 工法概要

裏込注入工法は、覆工背面と地山との空洞を裏込注入材で充填する工法であり、裏込注入材の種類から分類できる。

【解説】

覆工背面と地山との空洞を充填することで覆工に作用する地圧を均等に分布させることや、地盤反力を有効に働かせることができ、その後の合理的な補修・補強の構造力学条件を整えることができる。また、覆工への地山からの偏圧の防止にも効果がある。さらに、地山の風化やそれに伴う崩落を防止し、漏水を抑制する効果がある。図-5.1.1に裏込注入工法の概念図を示す。

裏込注入工法は、漏水対策等の補修的な目的と地圧対策等の補強的な目的の両面で適用される工法であり、水路トンネルの補修・補強工事における適用実績が非常に多い工法である。裏込注入工法は外力によるひび割れ等の変状対策として最も基本となる工法であり、かつ最も効果的な工法であるため、原則として空洞の存在する変状トンネルにおいては、まず裏込注入工法を計画する必要がある。特にアーチ部の空洞を確実に充填することが基本となる。

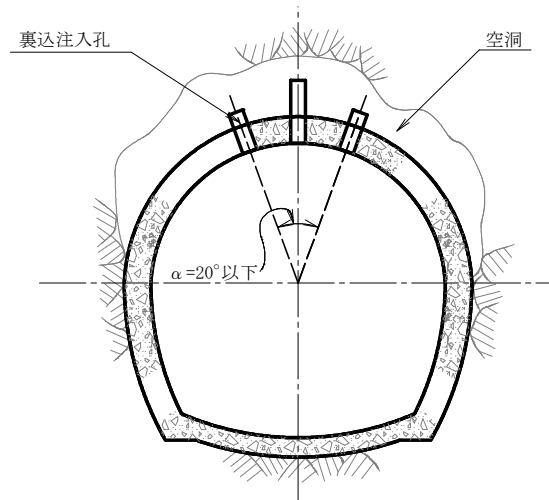


図-5.1.1 裏込注入工法（セメント系）（例）

(1) 適用条件

- ① 覆工背面の空洞が原因で、変状が発生している場合
- ② 覆工が注入圧力に耐え得る状態の場合
- ③ 湧水の状況が注入可能な程度である場合

(2) 注入材料の特徴

裏込注入材には、セメント系注入材と非セメント系注入材がある。セメント系注入材については更に非可塑性注入材と可塑性注入材に分けられ、それぞれ更に非エア系とエア系に分類される。セメント系注入材の適用実績としては、近年は可塑性注入材が多く用いられている。

また、非セメント系注入材には各種の材料が用いられてきたが、近年では発泡ウレタン系の材料が用いられている。

図-5.1.2 に裏込注入材の分類を、表-5.1.1 にこれらの裏込注入材の特性を示す。

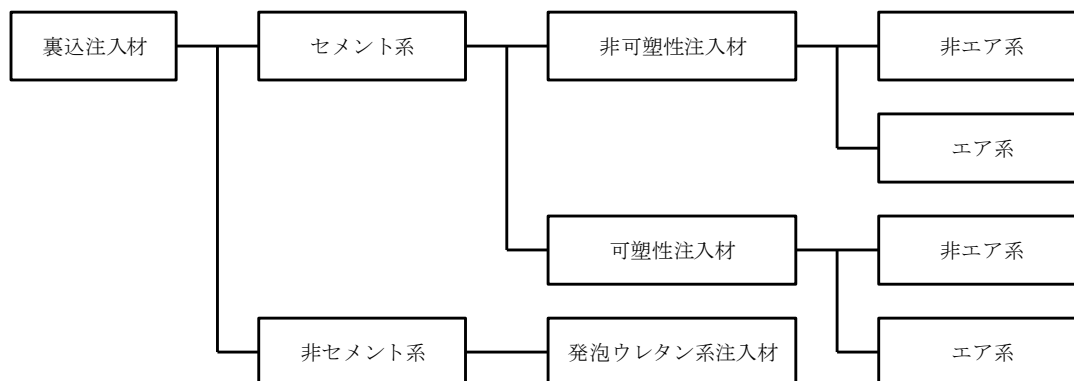


図-5.1.2 裏込注入材の分類

表-5.1.1 裏込注入材の材料特性一覧

材料	セメント系				非セメント系
	非可塑性注入材		可塑性注入材		発泡ウレタン系注入材
	非エア系	エア系	非エア系	エア系	—
	モルタル、セメントベントナイト	エアモルタル、エアミルク	ポリマーセメント等	エアモルタル・エアミルク＋添加剤	裏込め注入用発泡ウレタン
材料の特徴	モルタルや、モルタルにベントナイトを混合して流動性を良くしたもの	モルタルやセメントミルクに、空気を混入し流動性を良くしたもの	セメントベントナイト等にポリマー材料を混入し流動性を高めたもの等	エアモルタル又はエアミルクに可塑性剤や繊維物質等を添加したもの	発泡ウレタンを用いた注入材
単位体積重量 (kN/m ³)	20 程度	11～14 : エアモルタル 6 程度:エアミルク	11～15	10～12	0.3～1.0 (発泡倍率 40～12)
ゲルタイム (硬化時間)	数時間～1 日程度 (硬化時間)	数時間～1 日程度 (硬化時間)	混合直後から可塑性	混合直後から可塑性	1～3 分程度 (硬化時間)
フロー値 (mm)	15～20sec (P ロート法)	200±20mm (シリンダー法)	80～120mm (シリンダー法)	80～150mm (シリンダー法)	— (注1)

(注1) 発泡ウレタンの場合、発泡しながら硬化するため、フロー値はない。

(土木研究所資料第 3877 号 道路トンネル変状対策工マニュアル (案)、土木研究所、平成 15 年 2 月、p.109 を引用)

- ① セメント系の注入材（非可塑性注入材）としては古くからモルタルが用いられてきたが、覆工背面の空洞充填に必要な流動性が不十分で大量施工には適さないため、近年では流動性を改善する目的でベントナイトを混合したセメントベントナイトや、気泡を混入したエアモルタル、エアミルクが用いられている。

非可塑性注入材の特徴は以下のとおりである。

- (a) セメントベントナイトは単位体積重量が大きく、覆工への負荷が大きくなるため、トンネルの裏込注入材としては難点がある。
- (b) エアモルタル、エアミルクはモルタルやセメントミルクに起泡剤によって生成されたエア（気泡）を混入したものであり、単位体積重量が小さく、流動性が高いため、細部の空洞やひび割れへの充填性が良く、安価で、大量施工に向いている。そのため、矢板工法で施工されたトンネルの裏込注入材として古くから多用され、使用実績が多い。ただし、流動性がよいため限定注入しにくく、地山中のひび割れや覆工のひび割れ・目地等へ逸走しやすい。また、水で希釈されやすく、とくに地下水が多いトンネル等では湧水による気泡の消失や、モルタル分の流出による材料分離が生じて十分な空洞充填ができない場合もある。

- ② セメント系の注入材（可塑性注入材）としては、モルタルやエアモルタルに可塑剤を添加し水に希釈されにくくしたもの、ポリマーをモルタルに混入させてモルタルの流動性を高めたもの、又は、ペーパースラッジをエアミルクに混入して材料分離抵抗性をもたせたものなどが開発されている。可塑性とは加圧あるいは揺動させることにより固体と液体の中間領域の性質を呈することを意味する。

可塑性注入材の特徴は以下のとおりである。

- (a) 岩盤のひび割れ内部まで浸透するような流動性はないが、注入ポンプ圧や自重によって加圧されることによって、空洞への充填が可能な流動性をもち、加圧を止めると流動は止まるため、局所的な限定注入が可能であり、材料の逸走が少ない。
- (b) 水に対する分離抵抗性を有するため、湧水による材料分離が生じにくく、均一な強度が得られ、体積変化が少なく、湧水のある箇所においても注入可能である。
- (c) 単位体積重量はエアモルタルと同程度であり、軽量なため注入材の自重によって覆工コンクリートに与える負荷が軽減できる。

- ③ 非セメント系の注入材では、発泡ウレタンの適用実績が多い。発泡ウレタンは2液を混合することによる化学反応で発泡する性質を有する高分子系の薬液の一種である。配合により発泡倍率は異なり、数倍から40倍に発泡するものがある。

発泡ウレタン注入材の特徴は以下のとおりである。

- (a) 単位体積重量がセメント系に比べて極めて小さく、注入材の自重によって覆工コンクリートに与える負荷が小さい。
- (b) 硬化時間が短く、水中でも発泡・硬化するため、湧水による材料分離が生じにくい。
- (c) 施工機械が軽量かつコンパクトで、施工性（搬入・移動）に優れる。
- (d) 発泡開始から硬化までの時間が短く、流動範囲が注入孔を中心として直径2～3m程度に限定されるため、注入孔の間隔はセメント系注入材に比べて狭くする必要がある。しかし、注入材のリークが少ないため、限定注入が可能である。

(3) 施工の概要

セメント系注入材の施工においては、トンネル内に圧送管を設置し、アーチ部に直径 65mm 程度の注入孔を削孔した後、裏込注入プラントで製造した材料を圧送管で圧送し覆工背面に注入する。

非セメント系注入材の施工においては、注入機器と注入材料を坑内の注入箇所まで搬入し、アーチ部に直径 30mm 程度の注入孔を削孔して注入管を設置した後、注入ホースを接続して覆工背面に注入する。

(4) 留意事項

他の補修・補強工法と併用する場合には、合理的な補修・補強の構造力学条件を整えるため、裏込注入工法を優先して行う。しかし、巻厚不足の場合等、先に補強工法を行う場合もあるため、現場条件を踏まえて施工順序を決定する。

地山と覆工とが裏込注入材によって密着できるよう細部まで充填することができ、それぞれの変位、変形による反力を十分に伝達できる材料を選定する必要がある。

裏込注入材料は、それぞれの材料の特性を把握した上で選定することが重要である。

裏込注入により湧水が抑制されて、トンネル周辺の地下水位が上昇し、覆工に現状以上の水圧が作用する場合がある。その場合は、ウィーブホール等の水抜工を設け、地下水位の上昇を防止する必要がある。

裏込注入工法は空洞への充填を目的としており、地山（緩み領域など）の改良は対象としていない。よって、緩んだ地山などの改良を目的とする場合は、地盤改良工法の適用を検討する必要がある。次頁のコラムに坑内からの地盤改良工法を適用した事例を示す。

【坑内からの地盤改良工法を適用した事例（参考）】

① 地盤改良工法の適用理由

- ・トンネル上の地表面に陥没や沈下が生じ、調査の結果、覆工背面や地表付近に緩み領域が確認されたため、覆工背面の緩み領域を対象として坑内から地盤改良工法を適用した。なお、地表付近に緩み領域や空洞が確認された場合には、地上からの地盤改良工法を適用した。
- ・目地や断面欠損部からの土砂の流亡や、覆工背面に地山の緩み領域が確認され、放置すると地山の空洞化や地表陥没に進展するおそれがあったので坑内からの地盤改良工法を適用した。

② 地盤改良工法の施工事例

覆工背面地山の緩み領域に対し薬液注入工法（恒久グラウト材注入）を施工した事例を示す。

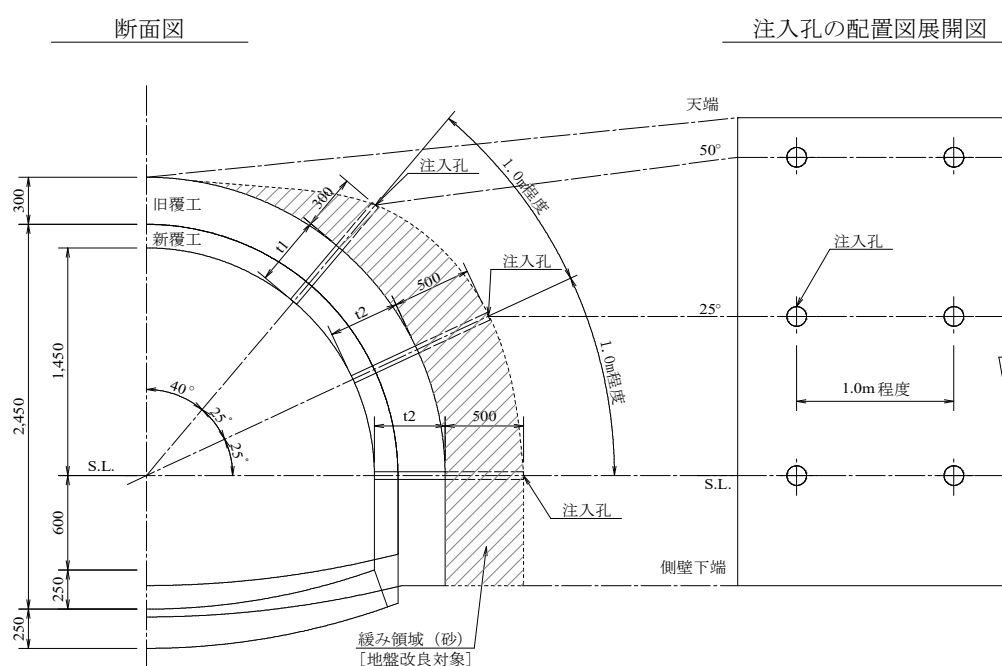


図-5.1.3 地盤改良工法施工標準断面図

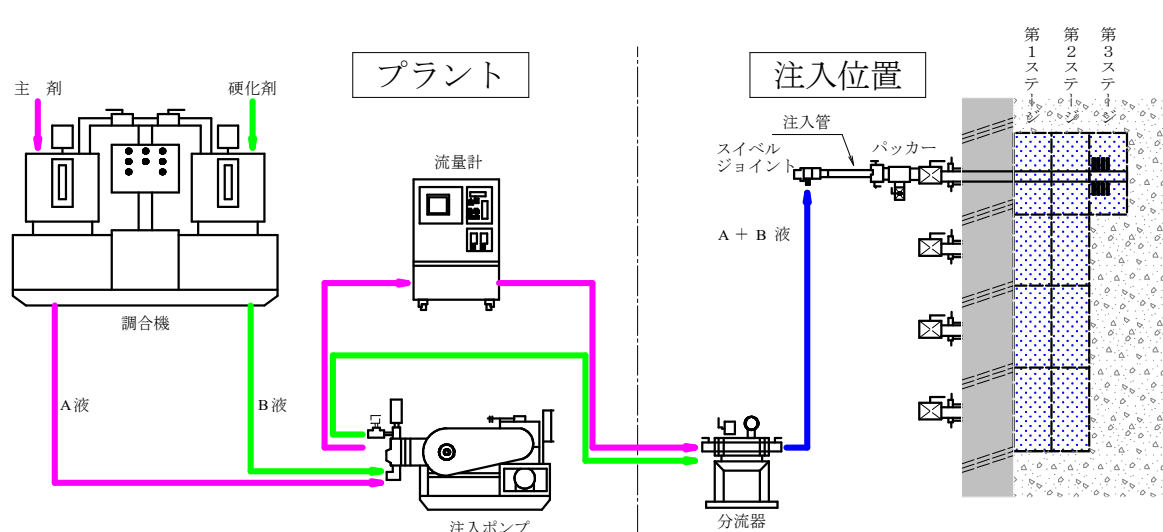


図-5.1.4 水路トンネルに適用した薬液注入システムの概要図

③ 施工状況写真



写真-5.1.1 資機材搬入



写真-5.1.2 注入孔削孔状況



写真-5.1.3 グラウト注入状況



写真-5.1.4 目詰工・施工完了

5.2 要求性能、性能照査

5.2.1 裏込注入工法の要求性能と性能照査

裏込注入工法の要求性能は、裏込注入材に応じて適切に設定する。

裏込注入工法の性能照査は、試験によって得られる材料及び施工の性能が、定められた基準値を満足することを適切な方法によって確認し、さらに施工が適切に実施されることを施工計画の照査に基づいて確認する。

【解説】

(1) 性能照査の基本的な考え方

裏込注入工法の性能照査は、裏込注入工法に期待される効果の持続期間中に、裏込注入工法を施工した水路トンネル施設が所要の要求性能を満足することを確認しなければならない。しかし、施工対象の水路トンネル施設に対して試験施工を行うことや裏込注入工法に要求される性能を一つの試験で直接的に正しく評価することは、一般に困難である。

このため本書では、裏込注入工法の性能照査に当たっては、裏込注入工法に係る材料及び施工に要求される照査項目について、その照査項目の試験値が要求値を満足することを試験によって確認することで性能照査とすることとした。ただし、裏込注入工法が所要の性能を有することを確認するためには、試験による確認に加えて、仕様どおりに確実に施工されるよう、施工計画が適切であることをあらかじめ確認しておかなければならない。

(2) 照査方法と品質規格値の考え方

裏込注入工法を施工した水路トンネル施設が所要の性能を確保するためには、裏込注入工法に適用する材料の特性及びその施工方法等を考慮して要求する性能を決定し、それらを明確にしておく必要がある。

材料及び施工の照査項目の試験方法については、例えば、JIS 等に規定されている試験方法を用いてその品質を確認することとし、基準値の適用に当たっては、変状要因及び施工条件等に応じて要求される性能を考慮して設定する。

工法開発時の裏込注入工法の要求性能に対する要求項目と照査方法及び要求値に関する基本的な考え方について、近年多く採用されている可塑性注入材と非セメント系注入材の考え方を表-5.2.1-1 と表-5.2.1-2 に示す。JIS 等に規定されている試験方法を用いて性能照査を行うことが困難な照査項目については、本書で試験方法を規定する（以降、「本書に示す試験」という）。なお、本書に示す試験よりも合理的な試験方法が確立され、工場製作時点において裏込注入材としての性能が証明されるとともに、施工後においても同一の性能を有していることが証明できる場合に限り、当該試験結果を性能照査に用いることを可能とする。表中で本書に示す試験と表記した照査（試験）方法の詳細は、巻末資料の「2. 各試験方法」を基本とするが、これら以外の試験方法を採用する際は、それぞれ適用する JIS 規格、JSCE 規準等を参照されたい。

また、以下に性能照査に関する特記事項を記す。

耐荷性（強度・剛性）：覆工に作用する地圧の均等化を図ることができる強度を有していること。裏込注入工法に用いる注入材は、一般に高強度のものは必要なく、覆工に作用する地圧を均等に伝達できるように、材料のバラツキがないように施工することが重要である。

セメント系注入材の圧縮強さの目標値は、一般に 28 日圧縮強さで $1.0\sim 1.5\text{N/mm}^2$ の例が多い。施工時には湧水がある場合や、過度に注入材が流動したりすることが考えられるため、注入後のバラツキを考慮して設計基準強度は 1.5N/mm^2 以上とする。

非セメント系注入材（発泡ウレタン）は、材料の単価が高く、配合（発泡倍率）による単価のバラツキも大きいため、緩み圧等の外力対策を目的とした注入なのか、空洞があっても長期間安定していた地山での将来の突発性崩壊の防止を目的とした注入なのかなど、対策の目的を明確にした上で個別に材料剛性を設定して、薬液の配合比率を定める必要がある。

一般に、発泡ウレタン系注入材は、圧縮強さが低く 1.0N/mm^2 未満であるため、外力対策として適用する場合には、材料剛性に留意する必要がある。既存の材料には数倍から 40 倍発泡までの材料があるが、外力対策が必要な場合には 12 倍から 30 倍発泡程度の材料を用い、地山の緩みによる突発崩壊の防止を目的とする場合は 40 倍発泡程度の材料が用いられている。

近年、裏込注入材の剛性が対策工の効果に及ぼす影響についての研究が進められており、外力対策として裏込注入を行う場合は、ある程度の剛性を有する裏込注入材を用いることにより背面空洞が無い場合に近い値まで変形抑制効果を高められることが明らかとなった。一方、注入材の弾性係数と地山の弾性係数の比が $1/4$ 程度を下回ると、補強効果が顕著に低下することが数値シミュレーションにより示されている。

これらの研究報告を踏まえ、外力対策として適用する発泡ウレタン系注入材の弾性係数は、地山の弾性係数の $1/4$ 以上を目安に材料を選定してよい。

ただし、30 倍発泡で注入した後に、再度、加圧注入することで、外力対策としての有効性が示された研究報告もあるので、各工法の補強の考え方に沿って適切な材料を選定することが重要である。

（参考：佐藤文法他、山岳トンネルの背面空洞に対する裏込注入材の剛性に関する検討、第 47 回地盤工学研究発表会、pp.1267-1268、2012.7）

（参考：日下敦他、山岳トンネルにおける覆工背面空洞の裏込め注入材の剛性と効果に関する一考察、トンネル工学報告集、第 26 巻、I -19、pp.1-7、2016.11）

（参考：長束勇他、トンネル空洞への現場発泡硬質ウレタンフォーム充填による機能回復技術、農業農村工学会誌、第 82 巻 4 号、pp.19-22、2014.4）

充填性・流動性：注入材が空洞にスムーズに充填できること。注入材においては、空洞を十分に充填できる流動性が最も重要である。また、施工性の面からも、注入ホースや注入管内をスムーズに流れることが必要である。特に圧送距離が長い場合には十分な検討が必要である。エアモルタルやエアミルクの場合、流動性は材料分離と密接な関係にあり、あまり流動性を良くすると材料分離の原因となることもある。

また、エアモルタルに使用する砂は、その粒径や粗粒率によりエアモルタルの性質が異なることがあるので、あらかじめ使用する砂を想定して配合を計画する必要がある。一般には、粗

粒率＝1.3～2.3 の範囲の砂が使用されることが多い。

非漏出性：注入材がひび割れや大きな目開きから漏出しないこと。覆工コンクリートのひび割れや目地部の目開きが大きい場合には、注入材がトンネル内に漏出するおそれがあるため、漏出対策を講じる必要がある。表-5.2.1-1 に示す可塑性注入材については、非漏出性試験において5mm 以下の隙間に対しては注入材が漏出しないことが実験により確認されている。ただし、現場の注入圧 0.15MPa においては 5mm 以下のひび割れからも漏出が確認された事例があるので注意する必要がある。一方、非可塑性注入材は、0.5mm 程度のひび割れからも漏出することが確認されている。よって、これを目安に漏出防止対策（ひび割れ補修等）の判断を行うことが望ましい。

水中分離抵抗性：水中で分離しないこと。湧水のある場合には、単位体積重量の小さい材料は流されたり、水面下では充填不足となりやすいことから、単位体積重量の大きいものを選定する必要がある。また、水中で分離しない材料や急結性のものなどの検討も行う必要がある。

非収縮性：注入後の体積収縮が少ないこと。注入材は、ブリージングが少なく注入後の体積収縮が少ないものを選定する必要がある。

表-5.2.1-1 裏込注入材（セメント系(可塑性注入材)）に求められる要求性能と性能照査方法

要求性能			要求項目	照査方法		要求値 (性能照査判定基準)
				試験方法	試験条件	
基本的性能	構造機能	耐荷性	注入材の強度 (圧縮強さ)	一軸圧縮強さ試験	JIS A 1216 「土の一軸圧縮試験方法」	材齢 28 日の圧縮強さ 1.5N/mm ² 以上
			単位体積重量	単位体積重量試験	JIS A 1116 「フレッシュコンクリートの単位容積質量試験方法及び空気量の質量による試験方法（質量方法）」 JIS A 1171 「ポリマーセメントモルタルの試験方法」 JSCE-F536 「PC グラウトの単位容積質量試験方法」	エ ア 系：10～12kN/m ³ エア系以外：11～15kN/m ³
			非漏出性	非漏出性試験	本書に示す試験	60 分経過後において 5mm 以下の隙間に完全流出があつてはならないこと
			水中分離抵抗性	水中分離抵抗性試験	本書に示す試験	【濁度】分光光度計により測定した光透過率の値により、濁り具合を確認する。水槽内に注入材を投入する前の水の測定値と、投入後 60 分経過後の水の測定値の増減比率が±2%であること 【pH】注入直後からの 60 分経過後の pH 測定比率が±10%であること
			非収縮性	非収縮性試験	本書に示す試験	28 日硬化後の収縮量が 2cm (2%) 以下であること
			空気量 (エア系)	NEXCO 試験方法 空気量試験	試験法 313 「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」	申告値 ±5 (%)
		充填性 流動性	充填性	充填性試験	本書に示す試験	容器内全体に注入材が充填され角材や H 型鋼との間にも隙間がなく密実に充填がなされていること
			流動性	NEXCO 試験方法 フロー試験	試験法 313「エアモルタル及びエアミルクの試験方法のシリンダー法」	フロー値 〔可塑状前〕 200mm±20mm (注 2) 〔可塑状後〕 80mm～150mm
			長距離圧送性	模擬配管による充填性能試験 (注 1)	各社技術による	工法の申告値

(注 1) 過去の圧送距離を超える圧送を行う場合には、適用する配合に対し新たな模擬配管による充填性能試験を行う。

(注 2) 可塑状前のフロー値はエア系の可塑性注入材に適用する。

表-5.2.1-2 裏込注入材(非セメント系)に求められる要求性能と性能照査方法

要求性能			要求項目	照査方法		要求値 (性能照査判定基準)
				試験方法	試験条件	
基本的性能	構造機能	耐荷性	注入材の強度	圧縮強さ試験	1. 供試体の作り方 JIS A 9511 2. 圧縮強さの試験方法 JIS K 7220「硬質発泡プラスチック-圧縮特性の求め方」	40 倍発泡 0.14N/mm ² 以上 30 倍発泡 0.20N/mm ² 以上 12 倍発泡 0.90N/mm ² 以上 非セメント系注入材の圧縮強さについては、対策の目的や地山の性状に応じて適切に設定しなければならないこと
			注入材の剛性	弾性係数試験	JIS K 7220「硬質発泡プラスチック-圧縮特性の求め方」に準拠	設計値以上（注1）
			単位体積重量	単位体積重量試験	JIS K 7222「発泡プラスチック及びゴム-見掛け密度の求め方」	0.3±0.03～1.0±0.2kN/m ³
		充填性流動性	充填性	充填性試験	本書に示す試験	容器内全体に注入材が充填され角材や H 型鋼との間にも隙間がなく密実に充填がなされていること

(注 1) 外力対策として適用する裏込注入材については、弾性係数試験を追加する。外力対策として適用する裏込注入材の弾性係数は、実施設計で定める値を要求値とする。

(3) 耐久性

第 4 章 対策工法の共通事項 4.3 要求性能、性能照査を参照。

5.2.2 裏込注入工法の適用性

裏込注入工法の選定に当たっては、要求性能を整理した上で、安全性、施工性、経済性の面で最も合理的な注入材及び注入工法を選定しなければならない。

【解説】

(1) 注入材の選定

裏込注入工法は、対策工の目的（外力対策・突発性崩壊防止）、施工延長（圧送距離、流動性、圧送性、材料分離抵抗性）、湧水の有無、水環境への影響、覆工コンクリートのひび割れや目地等からの漏出、限定注入への適用、覆工厚不足箇所への適用、施工ヤードの確保、機材搬入・運搬性、仮設備（換気設備・照明設備・電力設備・用排水設備）、等に着目して、注入材及び注入工法を適切に選定しなければならない。表-5.2.2-1 に裏込注入材の着目項目による選定の目安を示す。

表-5.2.2-1 裏込注入材の着目項目による選定の目安

着目項目	材料	セメント系				非セメント系	
		非可塑性注入材		可塑性注入材		発泡ウレタン系注入材	
		非エア系	エア系	非エア系	エア系	－	
		モルタル、セメントベントナイト	エアモルタル、エアミルク	ポリマーセメント等	エアモルタル・エアミルク＋添加剤	裏込め注入用発泡ウレタン	
覆工への負荷		大	中			小	
巻厚不足箇所への適用		内面補強工法等の検討を要する					可（ただし、注入圧や発泡圧の検討が必要）
湧水箇所への適用性		不適 （材料分離しやすい）		適			
空洞細部への充填性		充填しにくい	充填できる	加圧により充填できる		注入孔を設けることで充填できる	
坑内仮設備		坑内の配管（用排水管・注入材圧送管）、電力設備、照明設備等が必要であり、内空断面が小さい場合には仮設材の搬入・運搬に要注意					施工機材が小規模でとくに注意を要しない
坑外の仮設ヤード		坑内で直接生コンを荷受けできない場合必要					不要
圧送性能		2～3 百 m	百 m 程度	数百～数千 m	数百 m	－	
施工後の坑内排水 pH		変動する可能性あり					変化しない（注1）
冬季施工		可（ただし、坑外プラントや坑口までの配管部など施工場所の日平均気温が4℃以下になることが予想されるときは注意を要する）					10℃以下の場合には注意を要する（注2）
備考		機械化による大量施工に不向き	－	近年、新材料の開発、適用例が増えている		－	

（注1）注入材固化後（ポリマー状態）では水質への影響はほとんどないが、未固化状態（モノマー状態）の注入材が坑内水へ溶出した場合は、環境上問題となる場合があるため、水質が重要視される場合は適用に十分注意を要する。

（注2）発泡ウレタンは、施工場所の気温が10℃以下になると、粘性が増し注入機械への過剰負担と固化不足が懸念されるため、パイプヒーターを使用して加温したり、低温でも安定した反応性と物性を確保できる材料を使用したりするなどの注意が必要である。

（土木研究所資料第3877号 道路トンネル変状対策工マニュアル（案）、土木研究所、平成15年2月、p.110を引用）

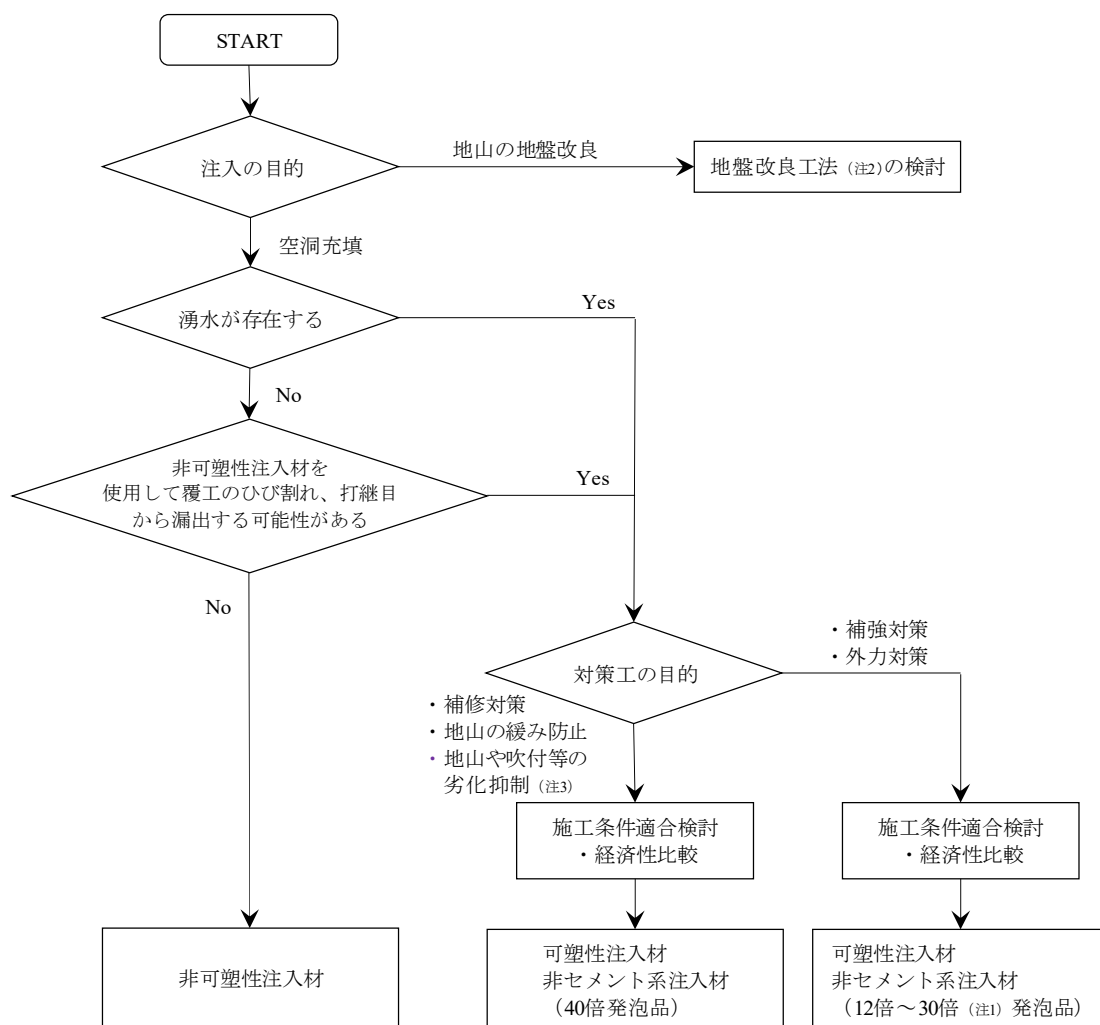
また、注入材の選定に当たっては、表-5.2.2-1 に示す事項も含め、以下の点に留意する必要がある。

- (a) 注入材の選定に当たっては、材料分離やブリージングが少なく、均一な強度が得られ、注入後の体積収縮が少ないものを選定する。また、空洞を十分に充填できる流動性が必要である。さらに、覆工への負荷を軽減するため、できるだけ単位体積重量が小さく軽量であることが望ましい。
- (b) 湧水のある場合には、湧水によって注入材が流され、充填不足となりやすいことから、水中で分離しない材料や急結性のある材料を使用するなどの検討が必要である。
- (c) セメント系注入材に混和する材料には、分散、気泡、膨張（発泡）及びセメント量を少なくすることを目的とするもの等種々の種類があり、目的に応じて適宜選定する必要がある。材料の分散作用を促進させ、流動性を改善するためには、一般的に減水剤や繊維物質が使用されている。膨張材は注入材が固まらないうちに膨張して収縮を打ち消すための混和剤であり、一般的にアルミ粉末が使用されている。セメント量を少なくする混和材料にはフライアッシュ等があり、施工性を向上させるための材料としてはベントナイト等があげられる。
- (d) 非セメント系の注入材（発泡ウレタン）は、「山岳トンネル工法におけるウレタン系注入の安全管理に関するガイドライン、東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社、令和2年2月」の基準を満足するものでなければならない。
- (e) 非セメント系注入材（発泡ウレタン）は、一般に材料単価が高価であるが、近年では地山の緩み防止対策等で安価な高発泡倍率材料の使用実績が増加している。高発泡倍率材料は強度が小さいため、地圧等の外力に対する対策目的には適用できず、用途に応じた適切な発泡倍率の選定が重要である。また、発泡ウレタンは有機化合物を原料とするため、取り扱う作業者の安全確保、周辺環境への影響、危険物としての保管方法等について十分に配慮する必要がある。
- (f) 大規模な裏込注入工を計画する場合には、事前に一部区間で複数材料により試験施工を実施し、最も効率の良い材料を選定するなどの配慮が必要である。

(2) 注入材選定の流れ

注入材の設計基準強度と配合は、地圧等の外力対策を目的とした注入なのか、空洞があっても長期間安定していた地山での将来の突発崩壊の防止を目的とした注入のかなど、対策の目的を明確にし、個別に設計基準強度を設定して注入材の配合を定める必要がある。

図-5.2.2-1 に裏込注入材選定フローを示す。図中の非セメント系注入材は発泡ウレタン系注入材を示す。国営事業で施工した水路トンネルの補修・補強工事における近年（平成 28 年度～令和 3 年度）の施工実績によれば、施工件数の比率は、可塑性注入材が 60%、非セメント系注入材が 40%、非可塑性注入材が 0%であった。



(注 1) 外力対策として適用する発泡ウレタン系注入材の弾性係数は、地山の弾性係数の 1/4 以上を目安に材料を選定する。ただし、30 倍発泡で注入した後、再度、加圧注入することで、外力対策としての有効性が示された研究報告がある。

(注 2) pp.5-4～5-5 の地盤改良工法の適用事例を参照。

(注 3) A タイプのトンネルの補強対策として行うライナープレート建込工法の裏込充填材に適用。

図-5.2.2-1 裏込注入材の選定フロー（例）

なお、非可塑性注入材を適用する場合は、覆工コンクリートのひび割れから漏出するおそれがあるため、ひび割れ幅 0.5mm 程度以上のひび割れは事前に補修しなければならない。写真-5.2.2-1 に非可塑性注入材（セメントベントナイト）の漏出状況を示す。



写真-5.2.2-1 裏込注入材（非可塑性注入材）の漏出

5.3 構造設計

5.3.1 構造設計の基本的な考え方

第4章 対策工法の共通事項 4.5.1 構造設計の基本的な考え方 を参照

5.3.2 解析の方法

第4章 対策工法の共通事項 4.5.2 解析の方法 を参照

5.3.3 裏込注入工法の構造設計

裏込注入工法の適用に際しては、水路トンネルの特性を踏まえ、現場条件に応じた構造計算手法を選定し、適切な構造計算を実施して耐荷性能を照査する。

【解説】

(1) 裏込注入工法の骨組解析検討モデル

裏込注入工法の骨組解析検討モデル（例）を図-5.3.3-1 に示す。

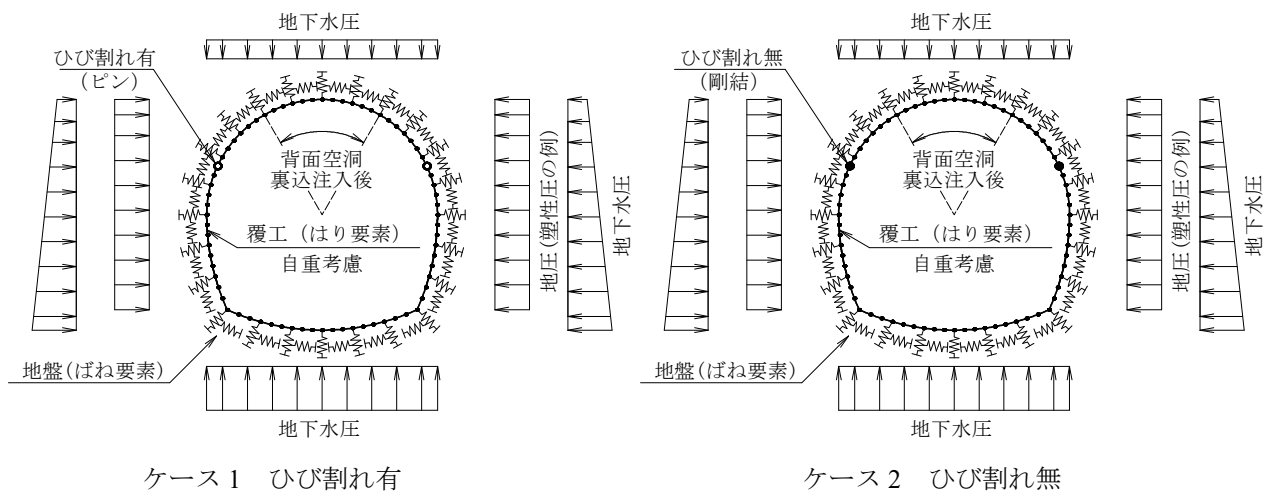


図-5.3.3-1 裏込注入工法の骨組解析検討モデル（塑性圧の例）

① 裏込注入工法の構造検討で考慮する荷重は次のとおりとする。

- ・ 自重（覆工コンクリート）
- ・ 地圧
- ・ 地下水圧
- ・ 内水圧

② 裏込注入工法の骨組解析における検討ケースは、ひび割れ有（塑性ヒンジ）と、ひび割れ無（剛結）の2ケースとする。ひび割れ無のケースは、ひび割れが発生する直前の状態又はひび割れ発生後にひび割れを補修した状態を想定している。

- ③ 地圧モードは覆工コンクリートの変状（ひび割れ位置等）や地山条件等から選択する。地圧強度は、第4章で示した曲げ引張ひび割れから推定した設計地圧強度と矢板工法の支保工に作用する荷重の大なる方、又は圧ざが発生している場合の地圧強度などから適切に設定する。
- ④ 水圧条件については、湧水状況や地圧モードに応じて、表-4.5.2-8 に示す組合せの中から適切な組合せを検討する。設計地下水位は、第4章で示したとおりウィープホールの有無等に応じて適切に設定する。
- ⑤ 覆工背面の地盤については、第4章で示したとおり地盤ばねでモデル化する。
- ⑥ 覆工コンクリートの構造については、部材厚やコンクリート強度を材料係数 γ_m 、部材係数 γ_b で除した物性値を適用する。
- ⑦ 解析モデルについては、第4章で示したとおり、裏込注入範囲に地圧と地盤ばねを作用させることでモデル化する。裏込注入材の物性は地山相当としてよい。裏込注入工法による強度増加は考慮しない。
- ⑧ 補強効果の照査は第4章で示したとおり、式 4.5.2-9 及び式 4.5.2-10 により、覆工コンクリート内縁の応力度の設計強度に対する比に構造物係数 γ_i と構造解析係数 γ_a を乗じた値が、1.0 以下であることを確かめることにより行う。照査の結果、これらの条件を満足していれば、裏込注入工法及びひび割れ等補修工法を対策工法に適用する。満足しない場合は、その他の補強・改修工法の併用を検討する。

(2) 裏込注入工法の計画における留意点

変状のある水路トンネルにおいて覆工背面に空洞がある場合には、補修・補強対策の両面から裏込注入工法の適用を検討する。しかし、以下の場合は裏込注入工法の適用に当たって十分に留意する必要がある。

- ① 湧水が多量な場合（注入材の選定に留意し、さらに、水抜工などの水位低下工法との併用を検討する。）
- ② 覆工コンクリート厚が不足して注入圧がかけられない場合（有効厚が 20cm 以下の場合は、仮補強工（写真-5.3.3-1）や接着工法等の併用を検討する。）
- ③ 覆工コンクリートの材質が不良で注入圧がかけられない場合（圧縮強度が 10N/mm² 以下の場合、仮補強工や接着工法等の併用を検討する。）
- ④ 覆工コンクリートのひび割れあるいは断面欠損が著しく、注入材がトンネル内に流入するおそれがある場合（断面修復・ひび割れ補修、あるいは他の流入防止策を講じることを検討する。）

⑤ 裏面排水工を閉塞することが問題となる場合（裏面排水工を閉塞すると他の変状を誘発するおそれのある場合は、水抜工などの地下水位低下工法との併用を検討する。）

⑥ 環境問題上、施工時に地下水の汚染対策が実施できない場合

〔仮補強工〕

覆工コンクリート厚の不足や材質不良などで裏込注入圧がかけられない場合や、ひび割れがブロック化して注入圧による崩落の危険性がある場合には、崩落やコンクリート剥落等の不測の事態から作業員を防護するため、注入孔周辺の覆工コンクリートを仮補強して施工することが望ましい（写真-5.3.3-1）。



写真-5.3.3-1 仮補強工の施工状況

(3) 裏込注入工法の調査における留意点

① 地形・地質

土砂地山、軟岩地山及びはく落が生じやすい地山では緩みが増大し、また土被りが小さい場合にはそれらに起因して地表の陥没や沈下、裏込注入材の漏出等が生じ環境被害を及ぼすおそれがある。このような場合は、背面地山の状態を十分に調査し、裏込注入工法の必要性、及び裏込注入圧・注入量の施工管理規定を綿密に計画することが重要である。裏込注入材の漏出等逸走防止対策については、本書の参考資料②「裏込注入材の逸走防止対策」を参照されたい。

② 覆工背面の空洞の分布・大きさ

裏込注入工の対象となる空洞の状態を正確に把握することが重要である。覆工背面空洞の調査には電磁波レーダー法を用いるのが一般的であるが、覆工コンクリート背面に崩積土が堆積している場合は、堆積厚さやその背面の空洞を探查できない。このため、必ず検証用の削孔を行い、ファイバースコープ等を用いて崩積土背面の空洞の有無を確認するとともに、針金やコンベックス等を用いて崩積土の厚さと空洞の大きさを測定する必要がある。なお、覆工背面空洞調査は側壁部も含めて実施することを基本とする。

③ 覆工コンクリートの状態

覆工コンクリートの欠陥、欠損の状態を調査し、覆工コンクリートが裏込注入の圧力に耐えられるかなどの適用性の可否、断面修復や仮補強工等の必要性を判断する。

④ 湧水の状況

湧水量が多量の場合、裏込注入工法が適用できない場合があり、あるいは、注入後水圧がかかり変状を促進させることもあるので、多量の湧水のある箇所での裏込注入工法の適用に当たっては、注入材の選定に十分留意し、さらに、水抜工などの水位低下工法等の併用を検討するなどの十分な注意が必要である。

⑤ 地下水の条件

裏込注入によって、地下排水設備に支障をきたすことがないか、あるいは、トンネル湧水を飲料水源等に利用している場合など、環境条件（地下水系）に与える影響を調査する。

⑥ 施工条件

使用中のトンネルにおいては、注入作業そのものや作業台の設置及びプラント設備などに制約を受けることが多いので、作業時間、資材置場、搬入路などの施工条件を十分検討して計画する必要がある。

(4) 設計注入量の設定

裏込注入工法は天端部のみの限定注入は困難であるので、側壁部に空洞が確認された場合は、側壁部の空洞にも計画的に注入する方針で設計注入量を設定しなければならない。設計注入量の算定方法については、本書の参考資料④「設計注入量の設定方法」を参考にされたい。

5.3.4 水抜工

第4章 対策工法の共通事項 4.5.3 水抜工 を参照

5.4 施工方法

5.4.1 長寿命化対策の施工

第4章 対策工法の共通事項 4.6.1 長寿命化対策の施工 を参照

5.4.2 仮設備工

第4章 対策工法の共通事項 4.6.2 仮設備工 を参照

5.4.3 坑内作業準備工

第4章 対策工法の共通事項 4.6.3 坑内作業準備工 を参照

5.4.4 下地処理工

第4章 対策工法の共通事項 4.6.4 下地処理工 を参照

5.4.5 導水・止水対策工

第4章 対策工法の共通事項 4.6.5 導水・止水対策工 を参照

5.4.6 補修工法の施工

第4章 対策工法の共通事項 4.6.6 補修工法の施工 を参照

5.4.7 裏込注入工法の施工

裏込注入工法の施工は、各工法に共通する部分と注入材料の種類によって異なる部分があり、現場条件によっても異なる。そのため、各工法の施工方法や特徴、現場条件を十分踏まえた計画の下で施工を行うことが求められる。

【解説】

(1) 裏込注入工法の施工上の留意点

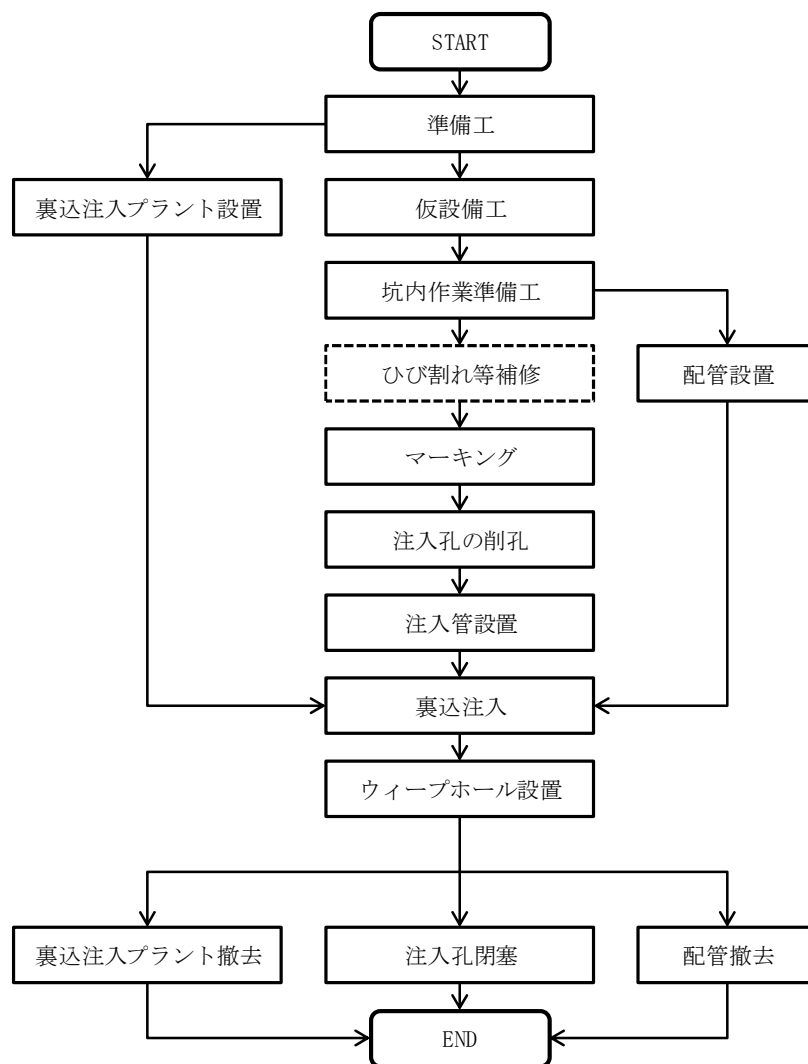
- ① 湧水が多量にある場合は、裏込注入によって地下水位が上昇し、湧水の浸出箇所が変化したり、湧水圧が増加したり、噴泥が生じたりする場合があるので、水抜工（ウィープホール）の併用を検討する。また、降雨等によりトンネル内の湧水が増加している場合には、注入作業の中断を検討する必要がある。
- ② 注入を実施する区間やその付近に導水対策工等が施されている場合には、注入材のリークによって導水断面が閉塞し、排水機能が低下したり、湧水の浸出箇所が変化したりする場合がある。そのため、注入後に導水状況を確認し、必要に応じ導水対策工の追加を検討する。
- ③ アンダードレーン等のトンネル排水設備についても、裏込注入材が流出する場合があるため、注入作業中及び注入作業終了時に点検し、裏込注入材が流出していないことを確認する。
また、水路トンネル近隣で地下水利用があり、裏込注入による水質への影響が懸念される場合

には、周辺環境への影響を考慮し、注入作業前に注入区域の地下水の水質を確認する。注入作業中は水質の変化を継続的に監視し、有害物質等が検出された場合には速やかに適切な措置を講じる。さらに、注入作業終了後も引き続き水質の変化を監視する。

- ④ 水質の監視地点は、注入箇所直近のトンネル坑内の1箇所とする。また、近隣の利水状況に応じて監視地点を増やすことも検討する。
- ⑤ 水質検査項目は注入材の種類に応じて適切に定める。セメント系注入材の場合は、セメントのアルカリ成分により水質がアルカリ性に移行する可能性があるため、**pH** の監視を主とする。また、非セメント系注入材に関しては、「山岳トンネル工法におけるウレタン系注入の安全管理に関するガイドライン、東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社、令和2年2月」に基づき、重点項目及び精密項目の水質監視を行う。重点項目は、発泡ウレタン系注入材の主成分である有機物を監視するため、過マンガン酸カリウム消費量と **pH** の2項目とする。精密項目は水道法水質基準及び水質汚濁防止法健康項目に加え、全有機炭素の量、過マンガン酸カリウム消費量、ジアルキルスズ及びフタル酸ジ(2-エチルヘキシル) とする。
- ⑥ 水質監視の結果、水質基準に適合しない場合、又はこれまでの測定値から著しい変化が現れた場合には、注入作業を中止し、以下のような措置を講じなければならない。
 - a. 注入工法を再検討する。
 - b. 注入機材の不具合等の有無の点検を実施する。
 - c. 必要に応じて地質調査等を追加して実施し、工法の見直しを図る。
 - d. 周辺の利水状況に応じた措置を講じる。
- ⑦ 注入材が目地部やひび割れや確認孔等からリークする場合には、注入を一時停止し、状態に応じて必要な処置を行う。ひび割れや断面欠損が著しく、裏込注入材がリークするおそれがある箇所については、事前にひび割れ補修工や断面修復工等のリーク防止措置を講じる。
- ⑧ 注入の際に過度な注入圧を与えると、覆工が変形する危険性があるため、施工中には上限値を設定して圧力管理を行う必要がある。
- ⑨ 1孔当たりの注入量が、施工前に定めた目安量を大幅に上回る場合には、範囲外へリークしている可能性が高いため、注入を一時中断し、周辺注入孔の注入を先行させる。その後、再度その注入孔の状況を確認し、再注入の可否を検討する必要がある。裏込注入材の地上への漏出や充填範囲外への逸走が懸念された場合には、参考資料②「裏込注入材の逸走防止対策」を参考に逸走防止対策を検討する必要がある。

(2) セメント系注入材の施工

セメント系注入材料の中で適用例の多い可塑性注入材を用いた裏込注入工法の施工に際しては、トンネル内に圧送用配管等を設置し、アーチ部に注入孔と確認孔を削孔した後、裏込注入プラントで製造した材料を圧送し、覆工背面の空洞に注入する。可塑性注入材を用いた裏込注入工法の施工手順を図-5.4.7-1に示す。



注) 破線は必要に応じて実施する

図-5.4.7-1 可塑性注入材を用いた裏込注入工法の施工手順（例）

1) 準備工

削孔作業の前に覆工コンクリートのひび割れや劣化状況等を目視、打音調査等により調査し、剥落するおそれのあるものや注入圧により落下するおそれのあるものはハンマー等でたたき除去する。

貫通ひび割れや顕著な目開きのある目地部については、裏込注入材が漏出する可能性があるため、事前の対策（補修）を講じる。

2) 裏込注入プラント設置

トンネルの坑口付近に、注入用のプラントを設置する。裏込注入プラントは、基材及び可塑性材の製造プラントと圧送ポンプ、発電機等で構成される。施工システムの一例を図-5.4.7-2に示す。

裏込注入プラントの設置に必要な面積は、概ね 100～200m² 程度であるが、適用する工法やセメントサイロの有無により異なる。

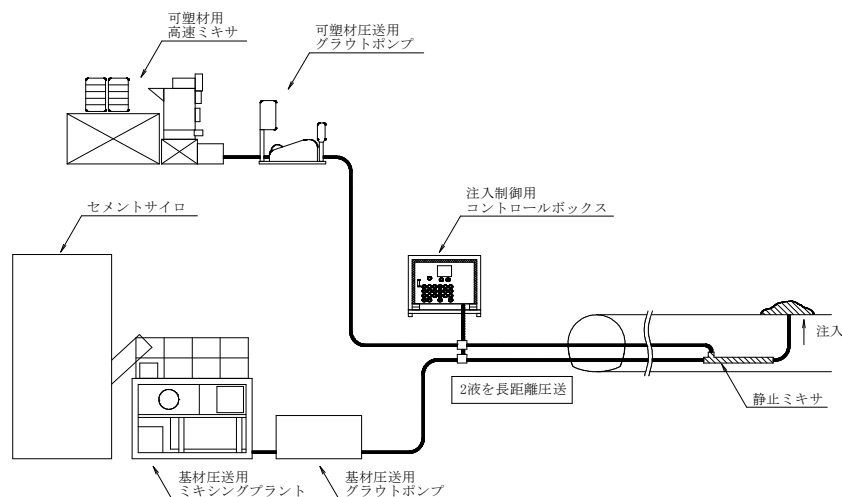


図-5.4.7-2 可塑性注入材を用いた裏込注入工法の施工システム（例）

3) 配管設置

裏込注入プラントから注入箇所までの圧送用配管及びリターン管を設置する。これらの裏込注入用配管は、図-5.4.7-3に示す配管支持金具等を用いて覆工側壁部に設置する。

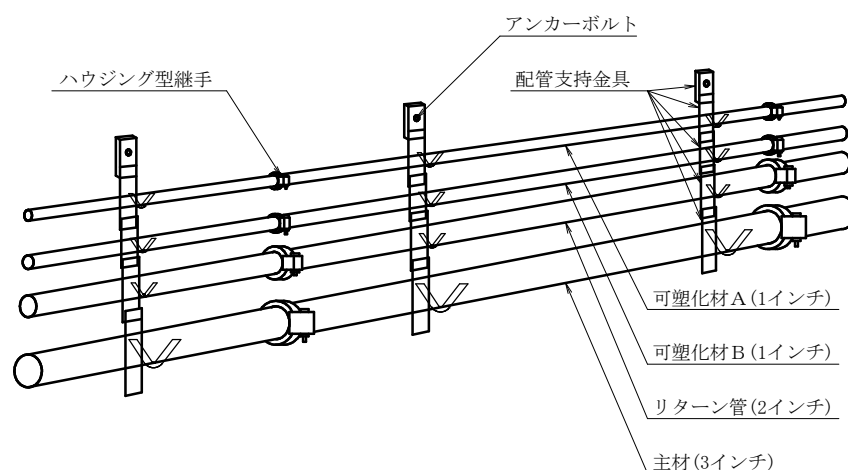


図-5.4.7-3 裏込注入用配管設置例（可塑性注入材の事例）

4) マーキング

設計図面等に基づき注入位置をマーキングする。ただし、注入位置が、ひび割れの多い箇所や目地に近い場合は、覆工コンクリートに悪影響を及ぼさない位置に移動してマーキングを行う。

5) 注入孔（確認孔）の削孔

注入孔と確認孔の使い分けは図-5.4.7-7 のとおり。

削孔はコンクリート用コアドリルを用いて行う。削孔径は注入孔径を考慮して定めるが、一般に注入孔径が 50mm 程度の場合、削孔径は 65mm である。注入孔の配置は中心線上に設けることを標準とする。また内空断面が大きい場合は、図-5.1.1 に示す $\alpha=20^\circ$ 以内の箇所千鳥若しくは両側ともに注入孔を設ける。なお、天端に空洞がない場合は、空洞分布に応じて注入孔の配置を検討する。注入孔の間隔は、5m を標準とする。削孔長は、覆工コンクリート厚が確認できる長さとし、覆工コンクリート厚、背面空洞厚を記録しておき注入計画の資料とする。

6) 注入管設置・閉塞

一般的な注入管及び取付器具の構造と材料を、図-5.4.7-4 に示す。

図-5.4.7-4 のとおり注入管の先端は竹割構造とし、覆工背面地山から 50mm 程度離して固定する。ただし、空洞厚が薄い場合には注入直後に急激な圧力上昇が生じて注入できないことがあるため、図-5.4.7-5 のとおり注入管を配管する。

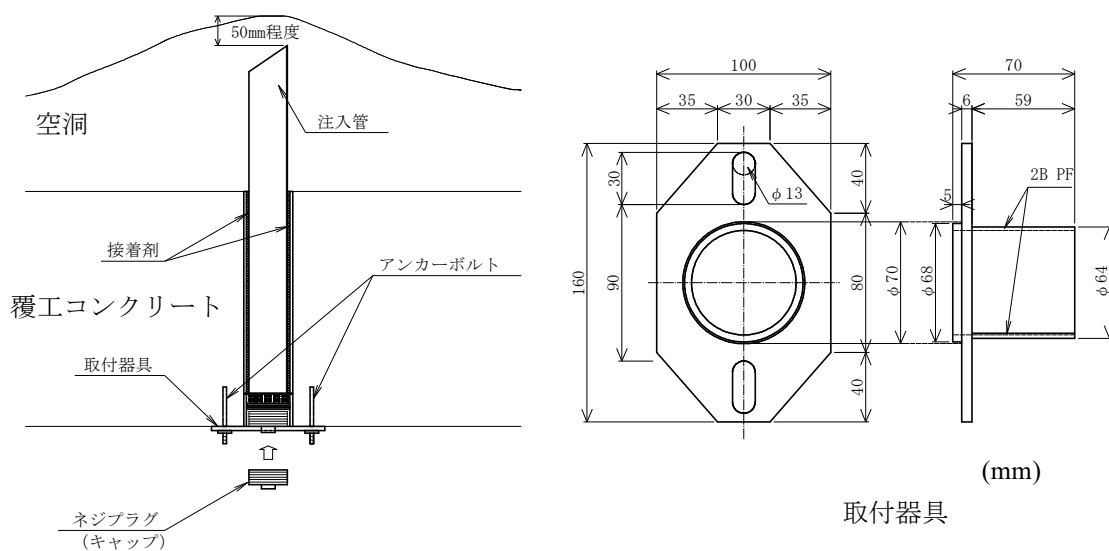


図-5.4.7-4 注入管及び取付器具（例）

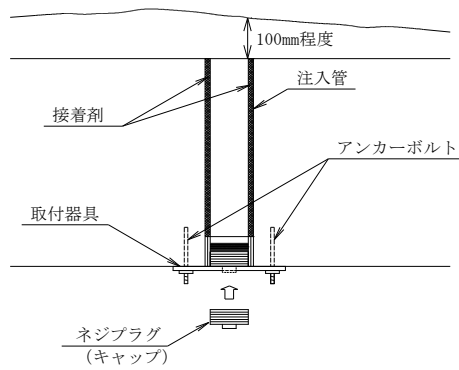


図-5.4.7-5 注入管（空洞厚が薄い場合）

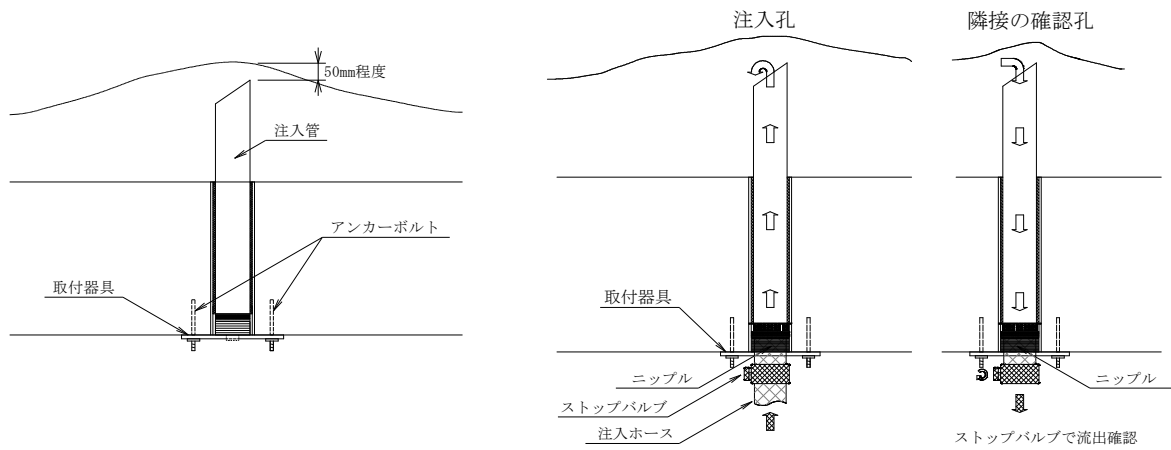


図-5.4.7-6 注入管手順（1）

図-5.4.7-7 注入管手順（2）

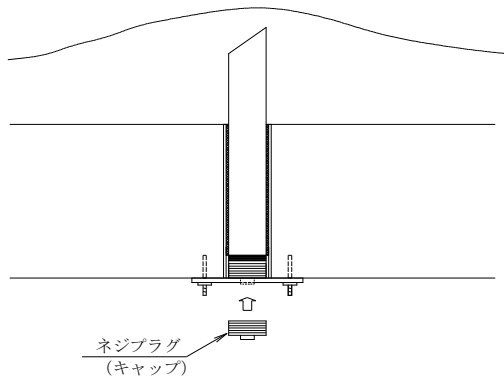


図-5.4.7-8 注入管手順（3）

注入管の取付けから後処理までの一般的な手順を図-5.4.7-6～図-5.4.7-8に示す。

- ① あらかじめネジ切り加工された取付器具に注入管を接続し、注入孔内に挿入してアンカーボルトで固定する。この時、注入孔と注入管は接着剤により固定する。また、ゆりみ防止のためナットにも接着剤を塗布する。
- ② 取付器具のネジ部にニップル（管継手）を接続し、注入ホースにて注入する。その際、隣接の

注入孔（確認孔）には、注入材の流出確認を行うためにあらかじめストップバルブのみ取り付けしておく。

- ③ 注入完了後は、ストップバルブ、ニップルをはずしネジプラグにて注入管を閉塞する。ネジプラグのゆるみ防止のためネジ部には接着剤を塗布する。

7) 裏込注入

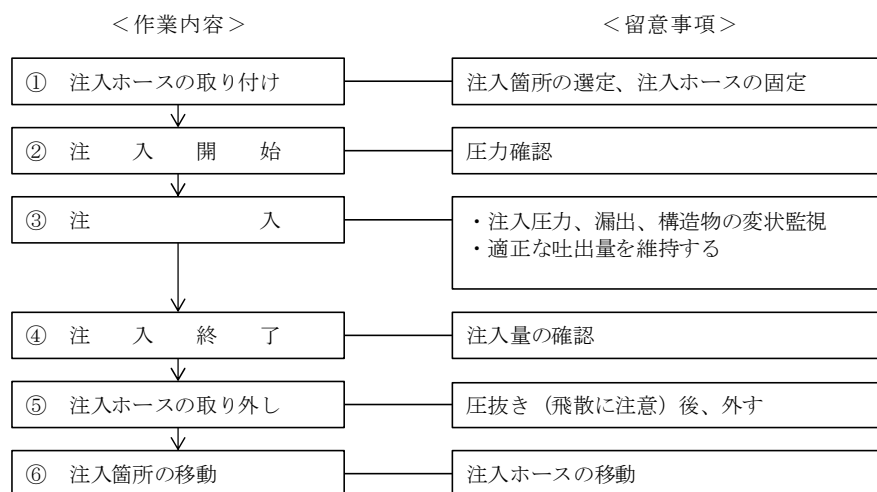


図-5.4.7-9 注入施工手順（例）

① 注入工程施工手順

注入順序は、トンネルの縦断方向の高度の低い方から高い方に片押しで施工する例が多い。標準的な注入施工手順は図-5.4.7-9のとおりである。

② 注入圧力の管理

注入圧力は、注入管直下に取り付けた圧力計で初期注入圧力 + 0.1～0.2MPa 程度で管理し、背面の空洞を十分に充填できる範囲内で覆工等への影響がないよう、注入が可能な範囲で小さくしなければならない。注入圧力は、材料の特徴や気温、吐出量等施工状況により変化する。初期注入圧力は、流出先に圧力がかかっていない状態の圧力である。注入孔毎に注入を開始して、所定の流量で安定した時の圧力を初期注入圧力とする。

急激な圧力変化が生じた場合は、異常の有無を確認する。

湧水圧がある場合は、水抜工を設けて湧水圧を前もって下げるなど、適切な処理を施してから注入するのがよい。しかし、地質によっては水抜工から地山中の細粒分が流出する場合があるので、十分な配慮が必要である。場合によっては地山注入等の併用を検討する必要がある。

③ 充填管理方法

裏込注入材の充填確認は、以下の i) 又は ii) により行う。

- i) 隣接の注入孔（確認孔）から注入材が流出（リーク）した場合。
- ii) 注入圧力が初期注入圧力 + 0.1～0.2MPa まで上昇した場合。

ただし、注入量が設計数量の 1.5 倍に達した場合には、当該箇所での注入を一度中断して、周辺の他の注入箇所の注入を行った後に、再度その箇所で注入する。

また、それでも充填が確認されない場合は、覆工及び地山状況を確認の上打ち止めとするか、粘性の高い充填材で堰状に固め逸走防止用の隔壁を形成させて注入を続けるかの判断を行う。裏込注

入材の逸走防止対策については、本書の参考資料②「裏込注入材の逸走防止対策」を参考にされたい。

注入材料によって注入圧力の管理値（標準値）を適用できない場合は、施工計画打合せ時の協議において個別の管理値を定めることができる。ただし、初期注入圧力 + 0.2MPa を上回る管理値は適用できない。

④ 流量計の管理

覆工背面空洞への注入量は、外観からの確認ができないため、使用材料の入荷伝票との照合により流量計で確認することになる。よって、流量計による数量管理が重要であり、注入時には流量計のキャリブレーションを実施しなければならない。流量計のキャリブレーション方法については、「矢板工法トンネルの背面空洞注入に関する調査設計・施工要領、東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社、令和6年7月、p.30」を参照されたい。

写真-5.4.7-1～写真-5.4.7-4 に施工状況を示す。



写真-5.4.7-1 注入孔削孔



写真-5.4.7-2 注入管取付



写真-5.4.7-3 ストップバルブ設置状況



写真-5.4.7-4 可塑性材注入状況

8) ウィープホール設置

裏込注入材が7日強度以上発現した時点でコア抜きによりウィープホールを設置する。ウィープホールは地山まで削孔し、裏込注入材の充填状況を確認する。未充填箇所が確認された場合は、再注入を行う。ウィープホールの構造、配置については、4.5.3 水抜工を参考にする。

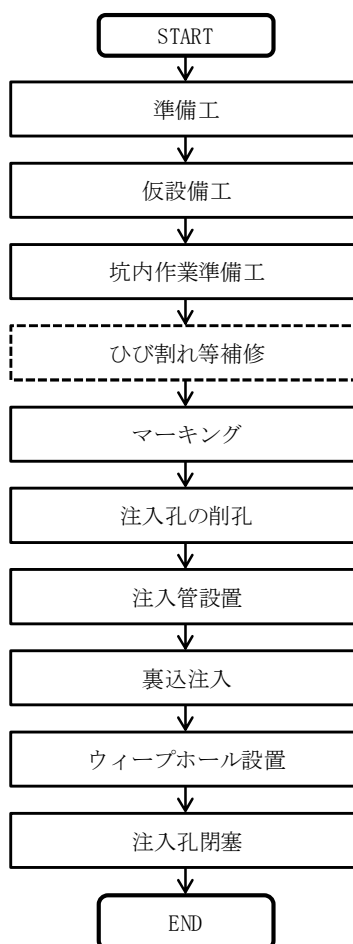
9) 周辺環境への影響等

破砕帯等で湧水が多い場合には、可塑性を強めた特殊配合を適用する場合がある。それに際しては、有害物質9項目（シアン、アルキル水銀、有機リン、カドミウム、鉛、六価クロム、砒素、総水銀、PCB）に関する硬化体の溶出試験を実施し、排水基準を満足していることを確認する。

(3) 非セメント系注入材の施工

非セメント系注入材料の中で適用例の多い発泡ウレタン系注入材を用いた裏込注入工法は、トンネル坑外の注入プラントや圧送設備が不要であり、小型の注入設備を注入箇所まで搬入して裏込注入を行うことができる。

発泡ウレタン注入材を用いた裏込注入工法の施工手順を図-5.4.7-10に示す。



注) 破線は必要に応じて実施する

図-5.4.7-10 発泡ウレタン系注入材を用いた裏込注入工法の施工手順（例）

1) 準備工

準備工については、「(2) セメント系注入材の施工」を参照されたい。

2) マーキング

マーキングについては、「(2) セメント系注入材の施工」を参照されたい。

3) 注入孔（確認孔）の削孔

削孔は、削岩機又はハンマードリル等を用いて $\phi 32\text{mm}$ の注入孔を削孔する。セメント系注入材の注入孔間隔は5m（標準）であるが、発泡ウレタンは流動性が低いため1.5～3m間隔で施工される例が多い。図-5.4.7-11に注入孔の配置と注入順序の例を示す。削孔長は覆工コンクリート厚が確認できる長さとし、覆工コンクリート厚、背面空洞厚を記録しておき注入計画の資料とする。

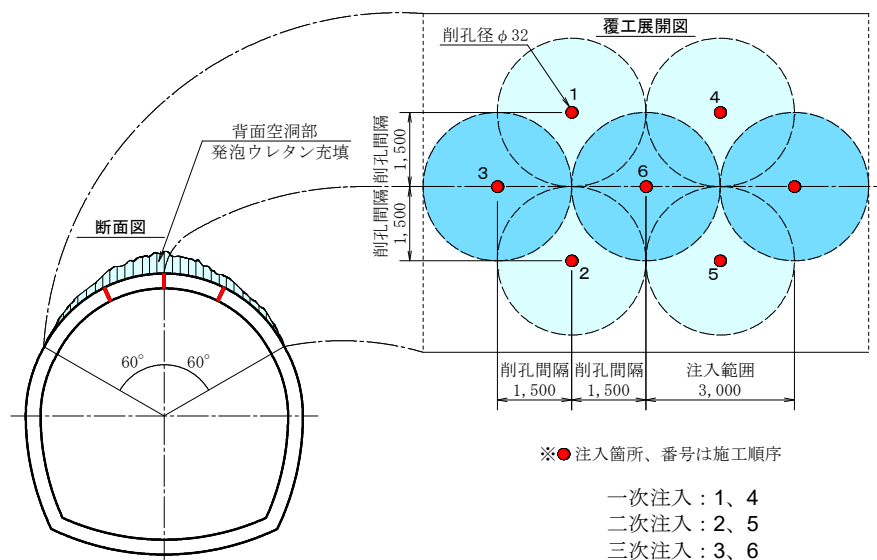


図-5.4.7-11 注入孔の配置と注入順序（例）

4) 注入管設置

注入孔の削孔後にスケール等で空洞厚の検測を行う。注入管を設置し、その口元をウェス等でコーキングして注入材のリークを防止する（図-5.4.7-12）。

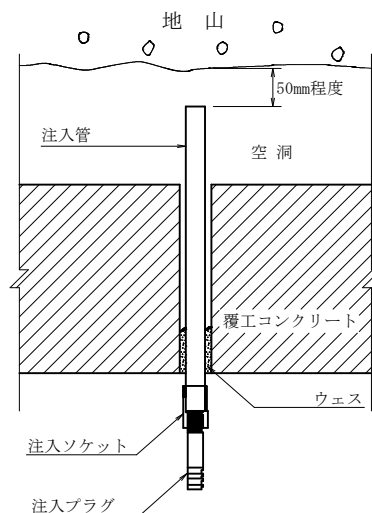


図-5.4.7-12 注入管設置要領図（例）

5) 裏込注入

① 注入工施工手順

裏込注入については、注入管に接続した注入ホースにミキシングヘッドを接続し、図-5.4.7-13に示す注入系統で注入を行う。所定注入量又は所定圧に到達した後、注入ホースを取り外し、隣接する注入管に接続する。この繰り返しにより最終の注入孔まで注入を進める。

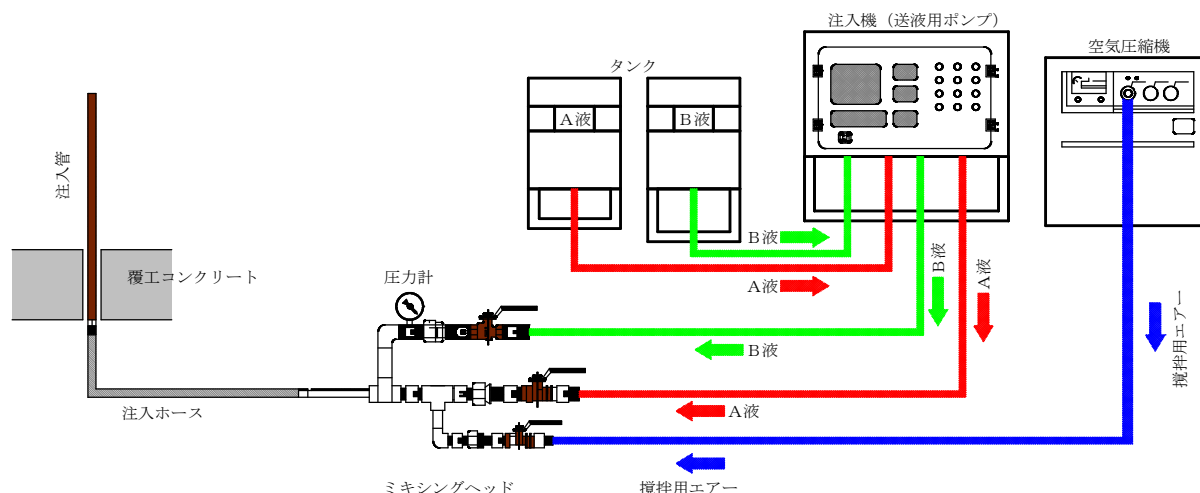


図-5.4.7-13 発泡ウレタン系注入材の注入要領図（例）

② 注入管理方法

発泡ウレタン系注入材の注入管理方法としては、a. 設定注入量による管理、b. 注入圧による管理、c. 確認孔からの注入材リークの目視管理、d. 確認孔から棒等による感触管理、が挙げられる。

一般には、a. 設定注入量管理と b. 注入圧管理を併用することで、注入不足の防止と、過剰な注入圧による覆工への負担軽減を図る。なお、c. d. の管理は未注入の隣接注入孔等を利用して実施する。

③ 注入圧力の管理

注入圧力は、初期注入圧力 + 0.1～0.2MPa の上昇をもって注入完了の目安と考えるのが一般的である。規定注入圧以下であっても、覆工コンクリートのひび割れが進展する等の不具合・変状が発生すれば、直ちに注入停止等の措置を取らなければならない。

写真-5.4.7-5～写真-5.4.7-8 に施工状況例を示す。

④ 充填管理方法

注入量管理は、注入孔削孔時に計測した背面空洞厚から算出した全体空洞量から各孔の空洞量を算出し、それを各注入孔の注入完了値として管理する方法が一般的である。

ただし、以下の場合には、直ちに注入を中断する。

- ・ 注入圧力が急上昇、若しくは初期注入圧力 + 0.1～0.2MPa 程度の上昇を確認した場合
- ・ 近接する注入孔（確認孔）から注入材の流出（リーク）を確認した場合

・覆工コンクリートに変状、異常を確認した場合

1 孔当たりの注入量が設計数量の 1.5 倍に達した場合は、当該箇所での注入を一時中断し、周辺の他の注入箇所の注入を実施した後に再度当該箇所へ戻り、別途注入孔を設けて注入する必要がある。この場合、急な機材の段取り替えが難しく時間を要するため、あらかじめそのような事態が想定される場合には、一次・二次注入時に設計数量の約 1.5 倍を注入し、三次注入時には注入圧力に留意しつつ充填を完了させるものとする。なお、設計数量の 1.5 倍は、「矢板工法トンネルの背面空洞注入に関する調査設計・施工要領、東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社、令和 6 年 7 月、p.30」を参考として設定したものである。



写真-5.4.7-5 注入管取付状況



写真-5.4.7-6 注入状況



写真-5.4.7-7 ミキシングヘッド



写真-5.4.7-8 注入機操作盤

6) ウィープホール設置

裏込注入材が強度を発現した時点で、コア抜きによりウィープホールを設置する。ウィープホールは地山まで削孔し、裏込注入材の充填状況を確認する。未充填箇所が確認された場合は、再注入を行う。ウィープホールの構造、配置については、4.5.3 水抜工を参考にする。

7) 注入孔閉塞

トンネル内空面からはみ出した注入管を切断し、エポキシ樹脂系パテ又はポリマーセメントモルタル等で目詰め処理を行う。

8) 周辺環境への影響等

発泡ウレタンは成分の大部分が有機物であり、十分に固結しない場合は未固結成分が地下水に流入するおそれがある。また、注入成分に含まれるイソシアネートには水をやや酸性に変化させる性質があるため、注入箇所周辺の湧水等について水質汚濁の状況を監視しなくてはならない。施工に際しては、「山岳トンネル工法におけるウレタン系注入の安全管理に関するガイドライン、東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社、令和 2 年 2 月」を遵守し、適切な施工管理を行うことが必要である。

9) 作業者の安全管理

発泡ウレタンの使用にあたっては、「化学物質等による危険性又は有害性等の調査等に関する指針、厚生労働省 基発 0918 第 3 号、平成 27 年 9 月 18 日」に基づきリスクアセスメントを実施し、リスク低減に努めなければならない。注入材および固結物には燃焼の可能性があるため、火気の取り扱いには十分注意しなければならない。また、作業員の健康被害を防止するため、事前健康チェックの実施および保護具の着用を徹底するものとする。

5.5 裏込注入工法の施工管理

5.5.1 裏込注入工法の材料の承諾及び保管管理

裏込注入工法に使用する裏込注入材については、材料、配合、物性値管理値等について監督職員の承諾を得る。また、使用材料は適正に保管管理を行う。

【解説】

裏込注入工法に使用する裏込注入材については、本書に示す品質規格を満足する材料、配合、物性管理の試験項目と管理値を示し、監督職員の承諾を得る。なお、本書に示す品質試験に合格した材料を使用する場合は、現場毎に試験を行わなくても良い。性能試験を受けていないものについては、公的機関の証明又は同等の証明を得た材料承諾書を監督職員に提出する。

発泡ウレタンの保管や取扱いに関しては、薬液の一部が「消防法」における危険物に該当するため、少量危険物貯蔵取扱所（指定数量未満の貯蔵・取扱い）として所轄消防署へ届け出て、所定の保管・取扱いを行う必要がある。

5.5.2 裏込注入工法の施工時の管理

裏込注入工の施工管理においては、裏込注入材に対し、次の項目について確認を行う。

- (1) 裏込注入材物性管理（フロー値、一軸圧縮強さ等）
- (2) 裏込注入圧力管理（設定値以下）
- (3) 裏込注入材充填管理

【解説】

(1) 裏込注入材物性管理

裏込注入工法の施工管理においては、覆工コンクリート背面と地山との空隙に注入する裏込注入材の物性値を管理することが重要である。標準的な裏込注入材の試験項目と試験方法及び測定回数を表-5.5-1に示す。なお、これによらない新技術等については、実験等の根拠に基づき、別途裏込注入材の性能管理規格値を定めることができる。

裏込注入材管理規格値（フロー値、一軸圧縮強さ）

- ① フロー値：材料承諾及び施工計画での申告値±20（mm）
- ② 一軸圧縮強さ：セメント系注入材 1.5N/mm²以上（材齢28日）
 圧縮強さ：非セメント系注入材（発泡ウレタン）
 40倍発泡 0.14N/mm²以上
 30倍発泡 0.20N/mm²以上
 12倍発泡 0.90N/mm²以上

表-5.5-1 標準的な管理項目と試験方法及び測定回数（例）

試験項目	試験方法	測定回数
フロー値	平滑な盤上のフローコーン（φ80mm×H80mm）に試料を水平に満たし、フローコーンを引き上げ1分後の広がり測定する。	2回/日 （午前・午後）
一軸圧縮強さ	JIS A 1216「土の一軸圧縮試験方法」による。 供試体の作製は JIS A 1132「コンクリートの強度試験用供試体の作り方」による。	1回/日

(2) 裏込注入圧力管理

裏込注入材の注入圧力は、注入材の種類及び施工方法や施工現場（背面の空洞状況）等に応じて変化するため、常に設計値以下で管理を行う。

(3) 裏込注入材充填管理

裏込注入材の充填管理においては、隣接する注入孔からの裏込注入材の流出（リーク）等により裏込注入材の充填完了確認を行い、裏込注入量が設計量と比較して適正であることを確認する。

ただし、背面空洞調査に基づく想定空洞量と実績注入量の間には数倍もの乖離が生じることが多く、また国営造成水利施設ストックマネジメント推進事業（技術高度化事業）で実施した裏込注入工法のモニタリング調査では、背面の空洞が十分に充填されていないケースが多く確認されている。

これらのことに鑑み、裏込注入完了後に施工範囲全体の充填状況を確認する必要がある。

裏込注入材の充填状況は、7 日強度以上発現時点でコア抜きにより確認することを基本とする。

確認孔は、ウィープホール（水抜工）を兼ねる方針とする。確認孔は地山まで削孔し、裏込注入材と地山の密着度を確認する。図-4.5.3-1 にウィープホールの標準的な位置を示す。

確認孔の頻度は、覆工コンクリートの 1 スパン（継目間隔）に 1 箇所を標準とする。確認位置は注入孔間の中央部を標準とする。継目位置が明らかでない場合は、12m 程度に 1 箇所を目安に充填状況確認を行う。

ウィープホールを設けない場合は、充填状況確認後に確認孔を断面修復材で閉塞する。

確認孔で空隙が確認された場合は、採取したコア長と孔口から地山までの距離を測定し、残存空隙量を確認する。残存空隙量が裏込注入前の空隙量の 2% を上回る場合は、再注入を行わなければならない。再注入後は、新たに確認孔を設けて充填状況を再確認する。

5.5.3 裏込注入工法の出来形管理及び品質管理

出来形管理及び品質管理は、土木工事施工管理基準による。

裏込注入材の出来形管理は、充填量及びコア抜きにより行う。品質管理は、一軸圧縮強さ（材齢 28 日）等による。

【解説】

出来形管理は土木工事施工管理基準によるものとする。ただし、当該基準に記載されていない項目については、巻末資料「施工管理項目等参考例」や各団体等が発行する資料に則って行う。

裏込注入材の出来形管理は、充填量による確認とコア抜きにより充填状況を確認する。

品質管理基準、工事記録写真の内容及び撮影頻度は、本書の巻末資料に示す。